

Thesis

MUNICH

1964

Untersuchungen über die
Integraldosis bei
Röntgenschichtaufnahmen

LANE MEDICAL LIBRARY
300 PASTEUR DRIVE
PALO ALTO, CALIF. 94304

von

GERD STAHLI

Aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie
und Röntgenologie der Universität München
- Rieder - Institut -

Direktor: Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens

U n t e r s u c h u n g e n ü b e r
d i e I n t e g r a l d o s i s b e i
R ö n t g e n s c h i c h t a u f n a h m e n

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Gerd Stähli

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Professor Dr. med. F. E. Stieve
Korreferent: Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens
Dekan: **Prof. Dr. med. O. Hug**

Tag der mündlichen Prüfung: 15. 12. 64

Untersuchungen über die Integraldosis bei Röntgenschichtaufnahmen

Einleitung

1. Die röntgenographische Darstellung von Körperschichten (allgemeine Theorie und Technik).
2. Dosisseinheiten und Begriffe (Definitionen)
3. Experimentelle Untersuchungen über räumliche Dosisverteilung bei Schichtaufnahmen im Vergleich zum Stehfeld
4. Eigene Untersuchungen über die Integraldosis bei Schichtaufnahmen
 - a. theoretische Grundlage
 - b. Auswertung - Tabellen und Kurven
 - c. Abschätzung der Integraldosis (Mayneord etc.)
 - d. Besprechung der Ergebnisse

Zusammenfassung



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Einleitung

Die durch ionisierende Strahlen erzeugbaren Schädigungen werden in letzter Zeit besonders wegen der mit den Atom-bombenversuchen zusammenhängenden Probleme nicht nur in wissenschaftlichen Kreisen eingehend diskutiert, sondern haben auch politisches Gewicht erlangt. Dabei wird auch in der Bevölkerung mit Sorge davon Kenntnis genommen, dass zur Zeit die röntgendiagnostischen Massnahmen noch immer den weitaus grössten Teil an der Gesamtbelastung der Bevölkerung durch künstliche ionisierende Strahlen ausmachen. Die bisher vorgelegten Untersuchungsreihen enthalten im wesentlichen allgemeine statistische Angaben über die Strahlenbelastung des Menschen bei röntgendiagnostischen Massnahmen. Dabei tritt neuerdings vor allem die im Körper absorbierte Dosis in den Vordergrund der Betrachtungen. Die vorliegende Arbeit soll zur Vervollkommnung der Vorstellungen über die im Organismus effektiv zur Einwirkung gelangenden Energiebeträge bei Schichtuntersuchungen und Stehfeldaufnahmen dienen. Dabei wird besonderer Wert auf die ausserhalb des Nutzstrahlenkegels vorkommenden Dosisanteile gelegt, worüber in den bisher in der Literatur vorliegenden Mitteilungen grösstenteils keine Angaben vorliegen. Die Belastung des Pat. wird erst dann richtig erfasst, wenn neben der Dosis im Bereich des Strahlenkegels zu Bilanzzwecken auch die im Streustrahlenbereich mit erfasst wird.

1. Die röntgenographische Darstellung von Körperschichten (allgemeine Theorie und Technik)

Das Verfahren gestattet eine weitgehend isolierte, relativ scharfe Darstellung einer wählbaren Körperschicht unter Verwischung der davor und dahinter liegenden Objektteile. Dieser Effekt wird stets erreicht durch die koordinierte Bewegung zweier Komponenten des Systems Röhre - Objekt - Film (2). Das Grundprinzip des Schichtverfahrens, welches in seinen grundsätzlichen Gedanken erstmals von André Edmond Marie Bocage im Jahre 1921 in einer franz. Patentschrift niedergelegt wurde, wird in Abb. 1 näher erläutert. Während der Exposition wird der Röhrenfokus von F1 nach F2 bewegt. In der gleichen Zeit legt die Filmkassette den Weg von K1 nach K2 zurück. Diese Bewegung findet z.B. um den Drehpunkt P statt. Die zum Film parallele Ebene, deren Höhe durch die Lage dieses Punktes bestimmt ist, bezeichnet man als Schichtebene (S). Aus Abb. 1 ist weiter ersichtlich, dass sich infolge der synchronen Bewegung von Röhre und Film des Punkt P, der in der Schnittebene gelegen ist, auf dem Film immer an gleicher Stelle projiziert, also scharf abgebildet wird, während beispielsweise der Punkt A, der ausserhalb der Schichtebene liegt, relativ zum Film eine Bewegung erfährt, also während der Belichtung verwischt und somit unscharf dargestellt ist. Das Resultat am Ende der Aufnahmebewegung ist eine scharfe Abbildung aller Punkte der Schichtebene. Die anderen Objektpunkte werden verwischt, unterbelichtet und ergeben keine scharfe Zeichnung. Dieses Prinzip kann sinngemäss auf die Bewegung zweier anderer Komponenten des Systems angewandt werden. Die technische Lösung ist auf mannigfache Art durchführbar. Eine einfache geometrische Überlegung lässt erkennen, dass bei der Bewegung von Röhre und Film zum Beweis der Erzielung eines scharf dargestellten Schichtbildes der Satz von den ähnlichen Dreiecken anwendbar ist. (3)

Die Vielzahl der möglichen Bewegungen der Systemkomponenten erklärt die grosse Zahl der entwickelten Geräte, sowie der Behelfs- und Zusatzgeräte. Betrachtet man die heute von der Industrie serienmässig hergestellten Schichtgeräte (5), so muss man unterscheiden zwischen Schichtgeräten mit eindimensionaler und solchen mit mehrdimensionaler Verwischung. Aus apparatetechnischen und damit auch wirtschaftlichen Gründen arbeiten die meisten der sich z.Zt. auf dem Markt befindlichen Schichtgeräte mit eindimensionaler Verwischung. Grund dafür ist ausserdem die Tatsache, dass bei Schichtaufnahmen im Bereich bewegter Organe, namentlich der Lunge - die ein grosses Indikationsgebiet darstellen - , die Bewegungsunschärfe der wichtigste Faktor ist. Die zur Reduzierung der Bewegungsunschärfe erforderlichen kurzen Zeiten können im allgemeinen jedoch nur mit eindimensionaler Bewegung und kleinem Pendelwinkel erreicht werden. Schichtgeräte mit eindimensionaler Verwischung bzw. nach dem gleichen Prinzip arbeitende Zusatzgeräte sind in grosser Zahl auf dem Markt.

Bei den eindimensional verwischenden Schichtgeräten kann man zwei Typen unterscheiden, nämlich die, bei denen sich Röhre und Film auf planparallelen Ebenen bewegen, und die, bei denen die Bewegung auf Kreisbogen erfolgt. Prinzipiell bestehen nach Vieten keine Unterschiede zwischen den beiden Systemen, wenn der Zentralstrahl stets auf die Drehachse gerichtet ist.

Für das Prinzip der sog. Planigraphie, bei der sich Röhrenfokus und Film in zueinander parallelen Ebenen bewegen, ist als Hauptvertreter der Planigraph bzw. der Universalplanigraph der Firma Siemens - Reiniger anzusehen. Das Großmannsche Prinzip (10) der Tomographie, bei welchem sich Röhrenfokus und Film auf Kreisbögen bewegen, wird heute durch den Universaltomographen der Firma Philips vertreten. Er gestattet wie der Universalplanigraph Schichtaufnahmen in horizontaler und vertikaler Lage des Patienten. Bei dem als Stratigraphie

bekannt gewordenen Verfahren von Vallebona und seiner Schule werden während der Belichtungszeit Objekt und Film um einen wählbaren Winkel gedreht. Der Hauptvertreter dieses Prinzips ist das Gerät Telestrator der Firma Zuder, Italien, dessen Vorteil die relativ kurzen Belichtungszeiten sind.

Dagegen ist das Angebot von Schichtgeräten mit mehrdimensionaler Bewegungsmöglichkeit des Röhrenfilmsystems relativ gering. Als wichtigstes Gerät dieser Bewegungsmöglichkeit soll hier nur das Polytom der Firma Massiot, Frankreich, mit dem sich neben linearer, kreisförmiger und elliptischer Bewegung auch komplizierte sog. hypocycloidale Verwischung erreichen lässt, angeführt werden. Über die Form der Aufnahmebewegung sind eine Reihe von Untersuchungen angestellt worden. Vor allem haben Großmann (14, 15) und Vieten (31, 32) in Deutschland und Kieffer (16, 17) sowie Andrews (1) in Amerika sich mit einer Analyse der günstigsten Bewegungsmöglichkeiten auseinandergesetzt. Als durchführbare Möglichkeiten bei der Bewegung von Röhre und Film haben sich die geradlinige, die kreisförmige, die spiralige, die hypocycloidale, die elliptische, die kleeblattförmige und die in Form einer Sinuskurve verlaufende Bewegung erwiesen. Stieve (29) konnte durch seine Versuche die Feststellung de Waards und Ziedses des Plantes (36) bestätigen, dass die Bildqualität am besten ist bei denjenigen Bewegungsformen, bei denen während der Röhrenbewegung alle wesentlichen Objektpunkte vom Zentralstrahl tangential getroffen werden, wenn sie senkrecht zur Darstellungsebene oder bis zu dem Winkel der grössten Röhrenexcursion zur Filmebene geneigt liegen. Diese Forderungen erfüllen am besten die von Sans und Porscher (30) am Polytom angegebenen Bewegungsmöglichkeiten, vor allem die Hypocycloide.

Da sich die im Rahmen dieser Arbeit ausgewerteten Versuchsergebnisse jedoch nur auf die Schichtaufnahmen mit planparallelen Bewegungen von Röhre und Film (Universalplanigraphen) beschränken, soll im Folgenden lediglich dieses Gerät näher beschrieben werden.

Der Universalplanigraph

Um einwandfreie Röntgenschichtaufnahmen zu erzielen, fordert man von einem guten Schichtgerät, dass das Verhältnis der Abstände Fokus - Schicht und Fokus - Film während der Exposition nicht geändert wird. Der Universalplanigraph entspricht dieser Forderung: Röhre und Film werden in zueinander parallelen Ebenen bewegt. Ein fest montierter Ring mit Zahnkranz von etwa 2 m Durchmesser trägt das gesamte drehbare Untersuchungssystem. Die Bewegung der Röhre erfolgt durch Motorantrieb, die gegenläufige Bewegung des Films wird mechanisch durch ein Übertragungsgestänge bewirkt. Die Einstellung der gewünschten Schichttiefe und die hierzu notwendige Verstellung des Drehpunktes erfolgt über einen Kurbelantrieb, wobei die Tiefenlage unmittelbar an einer Skala am Drehpunkt und einer solchen am Leuchtschirm eingestellt werden kann. Die Lagerungsplatte ist weitgehend verschieblich, was die Einstellung erleichtert. Der Röhren - Film - Abstand beträgt in Mittelstellung 140 cm. Die Einhaltung immer gleicher Abstandsverhältnisse von Fokus-Film und Schicht-Film ist nicht vorgesehen. Die sich so ergebende lineare Vergrößerungsdifferenz spielt aber keine wesentliche Rolle. Ferner werden zur eventuellen Orientierung und grössenrichtigen Beurteilung verschiedener Schichttiefen die beigegebenen Reduktionsmassstäbe verwendet. Die Dicke der darstellbaren Schicht bzw. die Grösse des Verwischungswinkels ist durch Kontakte, die den Röhrenstrom steuern, variabel. Die Grösse dieses Winkels ist vom Bedienungstisch einstellbar.

2. Dosiseinheiten und Begriffe (Definitionen)

In den folgenden Betrachtungen wird auf den Begriff der Integraldosis ausführlicher eingegangen. Es sollen deshalb vorweg die allgemeinen dosimetrischen Einheiten und Begriffe genau definiert werden.

1.) Dosimetrische Einheiten

- a.) Die Energiedosis einer ionisierenden Strahlung ist der Quotient aus der Energie, die einem kleinen Körperelement von der Masse durch die Strahlung unmittelbar oder mittelbar zugeführt wird, und der Masse. Die Einheit der Energiedosis ist das "rad".

Die Definition der Energiedosis gilt nicht nur für Röntgenstrahlen, sondern für alle ionisierenden Strahlenarten und alle Strahlenenergien. Wegen der geringen Energiedichte bei den in der Medizin üblichen Dosen kann man sie praktisch nicht direkt messen. Man kann sie jedoch aus der Ionendosis indirekt ermitteln.

- b.) Die Ionendosis einer ionisierenden Strahlung ist der Quotient aus der elektrischen Ladung eines Vorzeichens der Ionenpaare, die in einem kleinen Luftelement von der Masse durch die Strahlung unmittelbar oder mittelbar erzeugt werden, und der Masse.

Die Einheit der Ionendosis ist das Röntgen:

$1 \text{ R} = 11,3 \text{ erg ccm}^{-3} = 87,6 \text{ erg g}^{-1}$ in trockener Luft bei 0° C und 760 mm Hg.

Auch die Definition der Ionendosis gilt für alle ionisierenden Strahlenarten und für alle Strahlenenergien. Sie gilt jedoch im Gegensatz zur Energiedosis nicht in jedem beliebigen Stoff, sondern nur in Luft. Die einem Röntgen äquivalente Energiedosis "rep" ist heute nicht mehr gebräuchlich.

- c.) Die RBW Dosis (Relat.biolog.Wirkung) einer ionisierenden Strahlung ist der Quotient aus der zur Erzielung eines bestimmten, anzugebenden biologischen Effektes erforderlichen Energiedosis mittelharter Röntgenstrahlen und der Energiedosis, die bei der betrachteten Strahlenart den gleichen biologischen Effekt erzeugt. Die RBW ist ausser von der Strahlenart abhängig von vielen physikalischen und biologischen Faktoren und daher kein allgemein anwendbarer Begriff. Trotzdem wird gelegentlich der Begriff "RBW-Dosis" (d.i.die Energiedosis, multipliziert mit einem konventionell festgesetzten RBW-Faktor) und die Einheit der RBW-Dosis das "rem", benutzt.

In allen bisher genannten Einheiten ist die Zeit nicht enthalten. Da es jedoch nicht gleichgültig ist in welcher Zeit die Dosis verabreicht wird, dient die Dosisleistung, d.h. die je Zeiteinheit verabreichte Dosis als Mass für die Leistung einer Strahlenquelle. Die Dimension der Dosisleistung ist "R min" oder auch "R h", bzw. "R sec".

2.) Dosisbegriffe

- a.) Der Röntgenwert (RW) ist die Ionendosisleistung in 50 cm Abstand von der Strahlenquelle (bei Röntgenstrahlen vom Brennfleck) unter anzugebenden Betriebs- und Messbedingungen. Bei Röntgenstrahlen bis etwa 3 MeV und bei Gammastrahlen ist als RW die Standard-Ionendosisleistung frei in Luft anzugeben. Bei Röntgenstrahlen über 3 MeV ist als RW der maximale Wert der Ionendosisleistung anzugeben, der sich bei Einbettung der Ionisationskammer in Wasser ergibt. Im Übergangsgebiet von 1 - 3 MeV sind beide Methoden annähernd gleichwertig.

- b.) Die Einfalldosis (ED) ist die im Zentralstrahl im Fokus-Haut-Abstand frei in Luft gemessene Standardionendosis der von der Strahlenquelle einschliesslich Schutzgehäuse, Filter und Tubus ausgehenden Strahlung.
- c.) Die Oberflächendosis (OD) ist die Ionendosis auf der Strahleneintrittsseite an der Oberfläche des bestrahlten Körpers. Sie setzt sich zusammen aus Einfalldosis und Streuzusatzdosis.
- d.) Die Tiefendosis (TD) ist die Ionendosis in einer anzugebenden Tiefe des bestrahlten Körpers. Die relative Tiefendosis ist das Verhältnis der Tiefendosis zur Oberflächendosis.
- e.) Die Integraldosis (Raumdosis) (Volumendosis) ist diejenige Dosis, die sich aus der Integration der Dosis in jedem einzelnen Volumenelement des bestrahlten Körpers multipliziert mit der Grösse der einzelnen Volumenelemente ergibt. Auf den Begriff der Integraldosis wird in einem späteren Kapitel näher eingegangen.

3. Experimentelle Untersuchungen über räumliche Dosisverteilung bei Schichtaufnahmen im Vergleich zu Aufnahmen mit stehender Röhre.

Über direkte Ionisationsmessungen der Dosisverteilung bei Schicht- und Übersichtsaufnahmen unter gleichen Versuchsbedingungen hat Klems (18) berichtet. Ausgewertet wurden Messergebnisse mit dem Universalplanigraphen und dem Polytome, wobei sich Klems auf die eindimensionale Röhren-Film-Bewegung beschränkte. Dabei ergab sich, dass zwischen den beiden Systemen (planparallele Röhren-Film-Bewegung und Bewegung auf Kreisbögen) keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen. Im Rahmen dieser Arbeit werden deshalb nur die mit dem Universalplanigraphen ermittelten Messwerte zur Auswertung und zum Vergleich herangezogen. Sie basieren auf den Messungen, die auch der Arbeit von Klems zugrunde liegen.

Der grösste Teil der Versuche wurde an dem bereits beschriebenen Siemens-Universal-Planigraphen durchgeführt. Er war angeschlossen an einen 6-Ventil-Röntgenapparat der SRW Tridoros 4, der eine maximale Röhrenspannung von 150 kV erlaubt. Es wurde eine Drehanodenröhre mit Doppelfokus für 30 und 50 kW Belastung verwendet, und für die Messungen mit dem 30 kW-Fokus gearbeitet, der eine Grösse von 1,2 x 1,2 mm aufweist. Das in diesem Gerät eingebaute Streustrahlenraster war ein FFH-Raster, das einen relativ grossen Verlängerungsfaktor aufweist. Der eingestellte Winkel betrug 38° . Hierbei ist zu erwähnen, dass sich beim Planigraphen der eingestellte Winkel mit der Schichthöhe ändert. Diese Änderung ist dadurch bedingt, dass durch Änderung der Schichthöhe der Abstand Röhre-Drehpunkt geändert wird, die Länge des Röhrenweges aber gleichbleibt.

Als Dosismessinstrument diente das z.B. bei BUNDE (3) näher beschriebene Kondiometer der physikalisch-technischen Werkstätten Freiburg, das unmittelbar auf dem Prinzip der Ionisationsmessung beruht. Es besteht aus zwei Teilen: dem Grundgerät und den Ionisationskammern verschiedener Empfindlichkeit. Das Grundgerät enthält die Ladevorrichtung für die Messkammern und das Elektrometer, mit dem die Ladung der Kammern nach ihrer Bestrahlung bestimmt wird. Die Ionisationskammern sind kugel- oder zylinderförmig; sowohl Wände als Innenelektrode bestehen aus sogenannten luftäquivalentem Material, wodurch eine relativ geringe Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Strahlenqualität erreicht wird.

Die Besonderheit des Kondiometers liegt darin, dass die Ionisationskammer während ihrer Bestrahlung völlig vom Messinstrument getrennt ist und dadurch eine unbegrenzte Beweglichkeit besitzt. Die dazugehörigen sogenannten

Kondensatorkammern werden zunächst am Grundgerät auf eine bestimmte Spannung aufgeladen, dann an einem beliebigen Ort der Bestrahlung ausgesetzt und dadurch mehr oder weniger entladen. Danach wird die Restspannung gemessen, und zwar nach einer Nullmethode. Sie besteht in folgendem: Vor der Messung wird der Lichtzeiger des Elektrometers genau auf Null justiert. Der Ausschlag, den er dann bei Aufsetzen der bestrahlten Kammer zeigt, wird nicht abgelesen, sondern er wird mittels einer Kompensationsanordnung auf Null zurückgebracht. Diese Anordnung wird von einer Gleichspannungsquelle, einem sogenannten Influenz kondensator und einem Potentiometer gebildet, und mit ihrer Hilfe wird bei der Messung durch Influenz auf die Innenelektrode genau so viel Ladung zurückgebracht, wie vorher durch die Bestrahlung neutralisiert worden war. Da die Kapazität des Kondensators konstant ist, ist diese Ladung genau proportional der Entspannung am Kondensator, sie wird mit einem Spannungsmesser gemessen.

Nullmethoden sind stets genauer als Ausschlagmethoden, da die Messbedingungen vor und bei der Messung exakt dieselben sind. Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse geht beim Kondiometer bis zu einer Genauigkeit von etwa $\pm 1\%$. Die angegebene Messgenauigkeit gilt natürlich nur ab einer gewissen Grösse des Ausschlages am Messinstrument. Auf Grund der Vielfältigkeit der anzuschliessenden Messkammern gibt das Gerät zunächst die Messergebnisse nur in willkürlichen Einheiten an. Damit die gemessene Dosis in internationalen Röntgeneinheiten angegeben werden kann, muss jede Messkammer geeicht werden.

Diese Eichung geschieht durch Vergleich mit der Anzeige eines Standardmessgerätes (Sekundärstandard). Dazu diente in diesem Fall ein Küstnersches Eichstandgerät, das seinerseits 1955 an der Primärstandardanlage der physikalisch-technischen Bundesanstalt angeschlossen war.

Zur Messung im Wasserphantom wurden 10 mm Kugelkammern verwendet. Sie haben zwar den Nachteil, wegen ihres geringen Ionisationsvolumens relativ unempfindlich zu sein, so dass für einen Messgang oft eine Vielzahl von Schaltungen notwendig wurde. Sie waren jedoch erforderlich, da möglichst punktförmige Messungen angestrebt wurden. Für die Messung der Bezugsdosis am Film wurde eine zylindrische Spezialkammer von 33 mm Durchmesser und 90 mm Länge benutzt, die neben einer wesentlich höheren Empfindlichkeit noch den Vorteil einer zu vernachlässigenden Abhängigkeit von der Strahlenqualität hatte (SEELENTAG 27).

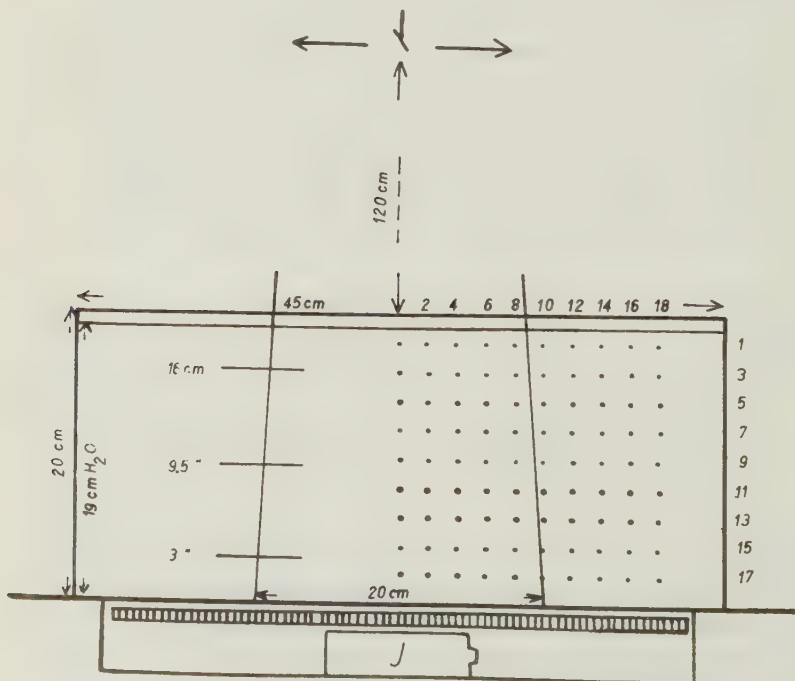
Als Versuchsobjekt diente ein Kunststoffbehälter von 45 cm Länge, 30 cm Breite und 20 cm Höhe, der 19 cm hoch mit Wasser gefüllt war. Die Einbringung der Messkammern ins Wasser geschah in der von SEELENTAG und KLOFF (28) beschriebenen Weise in einem Plexiglasstab, der für jede Messkammer eine genau passende Bohrung enthielt. Über den Stab wurde ein dünner Schlauch aus Matrixkautschuk gezogen, der das Nasswerden der Messkammern verhinderte. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Messkammern wurden horizontal in Richtung der Röhrenbewegung in der Mitte des Wasserphantoms eingebracht. Sie hatten einen Abstand von 2 cm, so dass bei einer Grösse des bestrahlten Feldes von $20 \times 20 \text{ cm}^2$ in der Filmebene und bei 10 im Zentralstrahl beginnenden Messpunkten jeweils die Hälfte im Streustrahlenbereich lagen. In 10 Arbeitsgängen wurde die Medianebene in 1 - 19 cm Abstand von der Wasseroberfläche in jeweils 2 cm Abstand ausgemessen. Damit sich die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgänge ohne grössere Fehlerbreite durch evtl. Schaltungsgenauigkeiten in Beziehung bringen liessen, wurde jedesmal die Dosis in der Filmebene ermittelt und alle Messwerte auf die Bezugsdosis von 1 mR an Film umgerechnet. Dies war auch deshalb er-

forderlich, weil in den unteren Schichten des Wasserphantoms und im Streustrahlenbereich eine messbare Dosis nur dadurch zu erzielen war, dass mehrere Schaltungen bzw. Röhrenabläufe durchgeführt wurden. Alle Messungen wurden als Doppelbestimmungen ausgeführt, um eine grössere Genauigkeit zu erzielen.

Messungen in den Ebenen senkrecht zur Röhrenbewegung ergaben keine Abweichungen gegenüber dem Stehfeld. Sie fanden daher bei dem Vergleich der Dosisverteilung von Stehfeld- und Schichtaufnahme auch keine Berücksichtigung.

Untersucht wurden folgende Aufnahmebedingungen: 3, 9 1/2 und 16 cm Schichthöhe vom Tisch aus gemessen, bei 80 und 130 kV mit dem Siemens-Universal-Planigraphen.



a.) Eigene theoretische Untersuchungen über die Integraldosis bei Schichtaufnahmen

Für die im gesamten Körper absorbierte Strahlenenergie wird im deutschen Schrifttum vorwiegend der Ausdruck Volumen - oder Raumdosis gebraucht. In der angelsächsischen Literatur hat sich seit den Untersuchungen von Mayneord (1940) (20) die Bezeichnung Integraldosis eingebürgert. Vom etymologischen Standpunkt aus trifft das Wort Integraldosis den gedanklichen Inhalt besser, denn durch die Bezeichnung Integral wird der begriffliche Gegensatz zu der in der Radiologie differentiell definierten "lokalen" Dosis besonders sinnfällig. Ihrer Bestimmungsmethode nach (Wachsmann 1941, Mayneord 1940, Mayneord und Clarkson 1944, 34, 20, 21) stellt die Grösse für die gesamte absorbierte Energie eigentlich eine Art Aggregationsdosis dar, die durch das Aufsummieren von Einzeldosen für einzelne Gewebeschichten aufgrund der Dosisgradienten inner- und ausserhalb des Strahlenkegels gewonnen wird. Die Integraldosis wurde 1940 von Mayneord (20) als das Produkt aus Dosis und Masse mit der Grösse Grammröntgen definiert. Diese Definition unterschied sich von dem bis dahin für die gesamte Energieabsorption gültigen Ausdruck "Volumendosis" (Wintz 1922, Jüngling 1924, Haphey 1940, 35, 15, 12), der als Produkt aus Dosis und Volumen definiert ist. Wenn die Dichte und die materielle Zusammensetzung des Schwächungskörpers wasseräquivalent sind, ist es gleichgültig, ob der Dosisintegration der lineare (Volumen- bzw. Raumdosis) oder der Massen - (Integraldosis) Schwächungskoeffizient zugrunde gelegt wird. Am lebenden Organismus, der ja hinsichtlich Dichte und Zusammensetzung nicht homogen ist, lassen sich die Grössen von Strecken und Räumen relativ leicht bestimmen. Deshalb kommt der Ausdruck "Volumendosis" der Praxis vorstellungsmässig ent-

gegen. Andererseits ist nach der internationalen Definition die totale Strahlenbelastung durch das Integral der in den Massenelementen absorbierten Einzeldosen gegeben. Wachsmann (34) hat 1941 das "Röntgen - Liter" eingeführt, um ein Mass für die Volumendosisseinheit zu definieren, wobei die Volumen- oder Raumdosis die Dimension Röntgen mal cm^3 hat. Demnach kann man die Raumdosis mathematisch ausdrücken als das Integral der auf die Volumenelemente wirkenden Einzeldosen:

$$I = \int R \cdot dv$$

wobei mit R die Dosis an jedem Punkt des Gewebes und mit dv die einzelnen Volumenelemente bezeichnet sind. Die räumliche Verteilung spielt bei der Ableitung des physikalischen Begriffes keine Rolle. Zur Bestimmung der Raumdosis gab Wachsmann (34) eine Näherungsmethode an, die es gestattet, die Integraldosis zu ermitteln. Bei dieser Methode wird das durchstrahlte Gesamtvolumen in viele Einzelvolumina zerlegt und für diese jeweils der Mittelwert der darin auftretenden Dosis errechnet. Die Summe der einzelnen Produkte aus Dosis mal Volumen ergibt die Volumen- oder Raumdosis. Dieses Näherungsverfahren wird dem oben angegebenen Integral um so mehr entsprechen, je kleiner die Einzelvolumina gewählt werden und je genauer die Bestimmung der mittleren Dosis in diesen Teilvolumina erfolgt. Während Wachsmann (34) bei seiner Näherungsmethode nur von der Tiefendosiskurve ausgeht und den Strahlenkegel in Volumenteile eines Kegelstumpfes zerlegt, wobei er vereinfachend eine gleichmässige Ausstrahlung der Einzelvolumina annimmt, wurde in dieser Arbeit zur Bestimmung der mittleren Dosis die Dosisverteilung über das gesamte Volumen, also auch im Bereich der Seitenstreuung berücksichtigt.

Angaben über die Raumdosis bei diagnostischen Massnahmen sind von Fedema und Oosterkamp (1953, 7), Reinsma und Vittay (1959, 23, 31) u.a. aufgrund von Bestimmungen der eingestrahlten Energie gemacht worden. Ausserdem haben Cen und Frik (1958, 4) Phantommessungen für ein 51 cm^2 grosses Eintrittsfeld mit Röhrenspannungen zwischen 55 und 200 kV vorgenommen.

Auf diesen Messergebnissen beruht der Vorschlag von Frik (1960, 8) die genetische und somatische Strahlenbelastung mit dem Begriff "Gesamtbelastung" auszudrücken. Dabei versteht er unter der Gesamtbelastung die Summe der applizierten Gonaden- und Volumendosis, die in prozentualen Anteilen der natürlichen Gonaden- bzw. Volumenbelastung eines Standardmenschen addiert werden.

Aufgabe dieser Arbeit war es, aus den von Klems experimentell ermittelten Dosisverteilungen bei Stehfeld- und Schichtaufnahmen die jeweilige Integraldosis zu bestimmen bzw. das Verhältnis der Integraldosis bei Schichtaufnahmen zu dem bei Stehfeldaufnahmen zu untersuchen.

b.) Auswertung der Kurven und Tabellen

Zur Verfügung standen die von Klems (18) anhand von direkten Phantommessungen gezeichneten Kurven, bei denen die Messwerte des ausgewerteten Phantomausschnittes in horizontaler Richtung aufgezeichnet waren, d.h. in diesen Kurven ist die Dosis als Funktion des Abstandes, vom Zentralstrahl aufgetragen, wobei der Abstand von der Oberfläche Parameter ist. Zunächst wurden diese Kurven graphisch so dargestellt, dass die Dosis als Funktion des Abstandes von der Oberfläche aufgetragen und als Parameter der Abstand vom Zentralstrahl eingeführt wurde (vergl. Abb. 3 bis 10). Diese Darstellung wurde gewählt um die Kurven übersichtlicher zu gestalten, da in den vorliegenden graphischen Darstellungen besonders in den abfallenden Teilen starke Überschneidungen der einzelnen Kurven auftreten, die eine tabellarische Auswertung, wie sie zur Bestimmung der Integraldosis erforderlich war, nicht zuließen.

Die so erhaltenen Kurven wurden dann durch Extra- bzw. Interpolation cm für cm tabellarisch erfasst, so dass die Tabellenwerte die Dosiswerte sind, die an den Knotenpunkten eines Zentimeterasters in der entsprechenden Ebene auftreten (vergl. Tab. 1 bis 8). Die Dosisverteilung in der gemessenen Ebene soll repräsentativ sein für alle Vertikalschnitte durch das Phantom. Diese Vereinfachung darf für die Berechnung eingeführt werden, da orientierende Messungen in anderen Ebenen keine wesentlichen Abweichungen ergaben. Um die Integraldosis näherungsweise berechnen zu können, war es notwendig, das Gesamtvolumen des Phantoms in Teilvolumina aufzugliedern und für diese die mittlere Dosis zu bestimmen. Als Teilvolumina wurden horizontale Schichten von 1 cm Dicke und Kantenlänge des Phantoms gewählt. Das Volumen dieser Einzel-

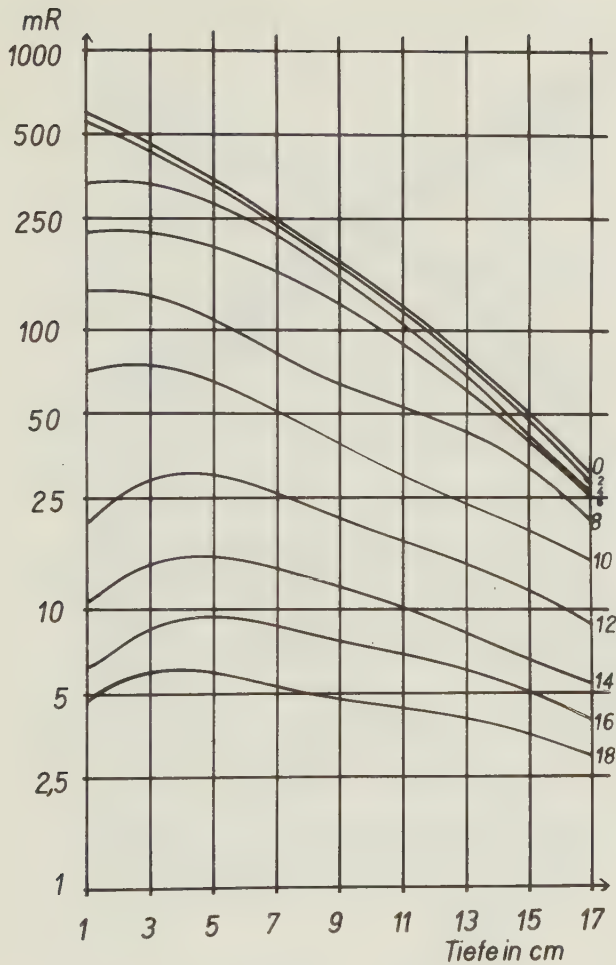


Abb. 3

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung), Pendelwinkel 38°
Fokus - Film - Abstand 145 cm

80 kV 3 cm Schichthöhe

Feldgrösse : 20 x 20 cm

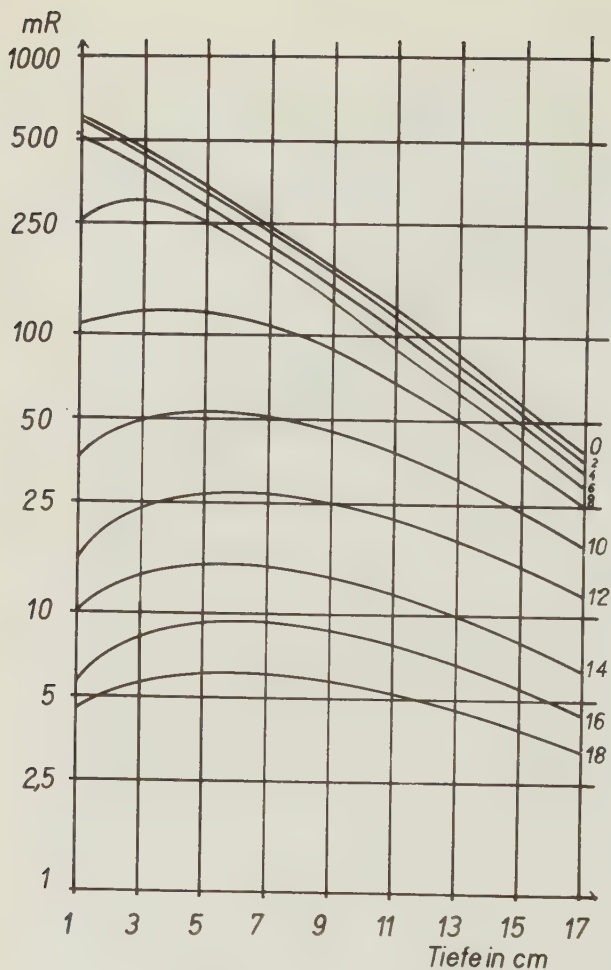


Abb. 4

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung), Pendelwinkel 38°
Fokus - Film - Abstand 145 cm

80 kV 9,5 cm Schichthöhe

Feldgrösse: 20 x 20 cm

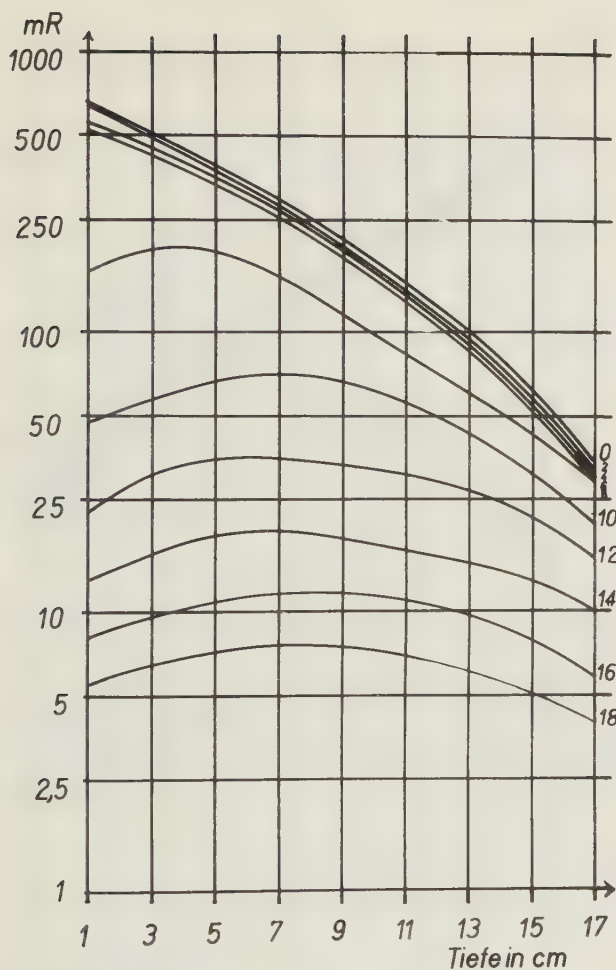


Abb. 5

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung), Pendelwinkel 38°
Fokus - Film - Abstand 145 cm

80 kV 16 cm Schichthöhe

Feldgrösse: 20 x 20 cm

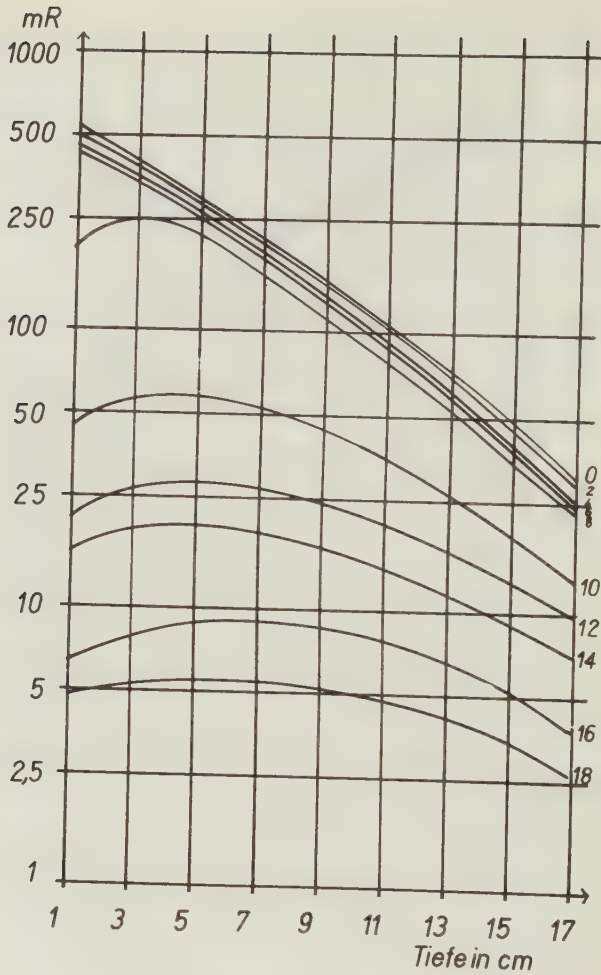


Abb. 6

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung)

Fokus - Film - Abstand 145 cm

80 kV Stehfeld

Feldgrösse: 20 x 20 cm

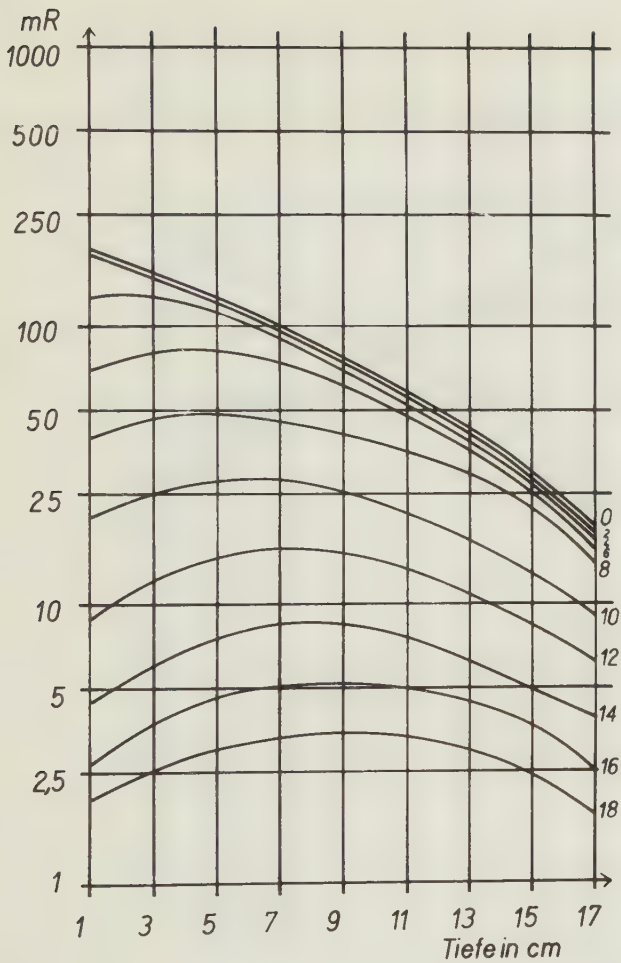


Abb. 7

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Feld

Universalplanigraph (lineare Verwischung), Pendelwinkel 38°
Fokus - Film - Abstand 145 cm

130 kV 3 cm Schichthöhe

Feldgrösse: 20 x 20 cm

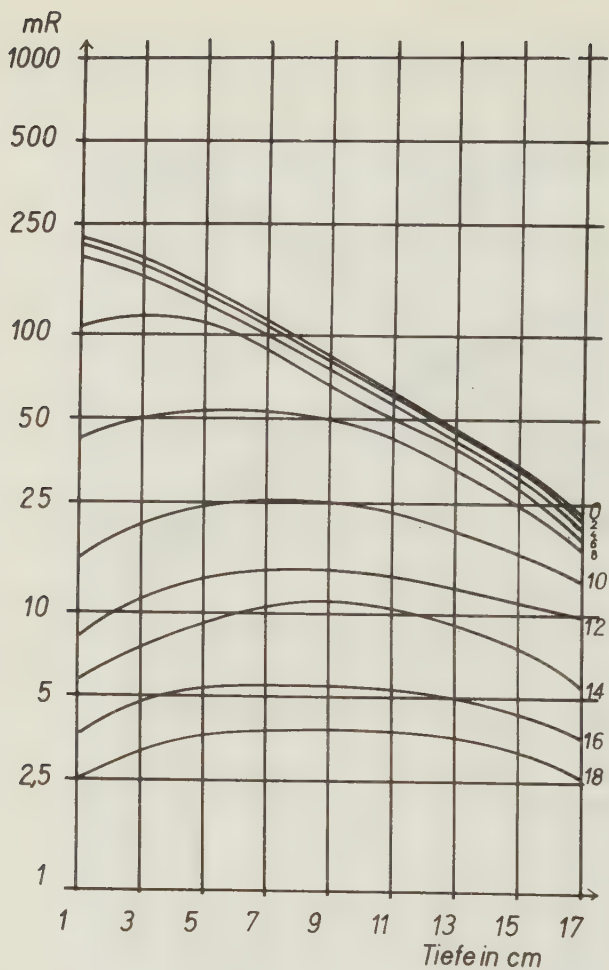


Abb. 8

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung), Pendelwinkel 38°
Fokus - Film - Abstand 145 cm

130 kV 9,5 cm Schichthöhe

Feldgrösse: 20 x 20 cm

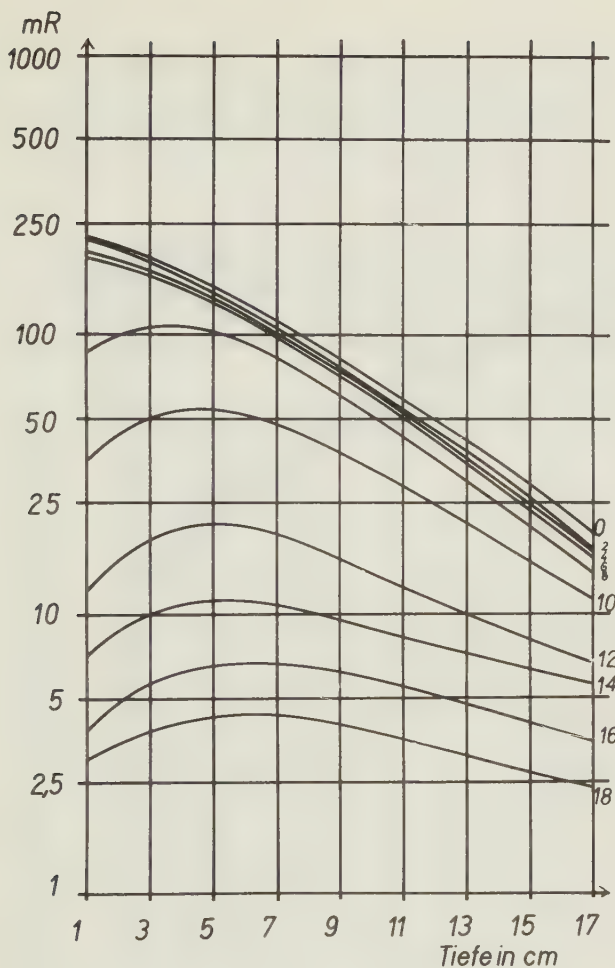


Abb. 9

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung), Pendelwinkel 38°
Fokus - Film - Abstand 145 cm

130 kV 16 cm Schichthöhe

Feldgrösse: 20 x 20 cm

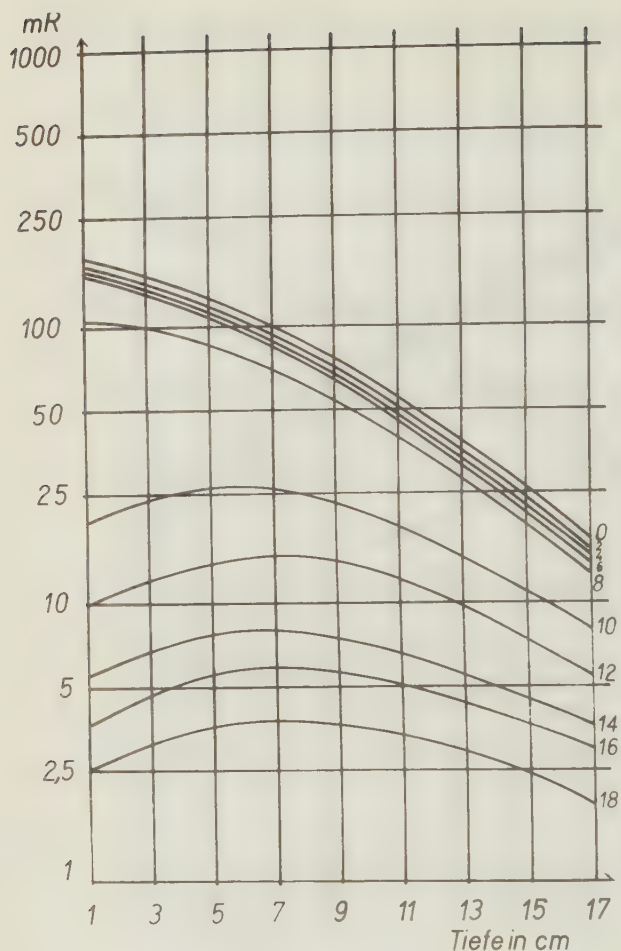


Abb. 10

Verlauf der Tiefendosis im sagittalen Längsschnitt bei verschiedenen Abständen vom Zentralstrahl bezogen auf 1 mr am Film

Universalplanigraph (lineare Verwischung)

130 kV Stehfeld

Feldgrösse: 20 x 20 cm

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	660	600	310	220	130	64	15	8,9	5,0	3,8
1	600	550	340	225	135	72	20	10,5	6,2	4,7
2	525	490	340	225	140	76	27	13,0	7,6	5,4
3	460	430	330	220	135	77	30	14,5	8,5	6,0
4	400	370	300	205	125	72	30	15,5	9,2	6,0
5	350	330	270	185	110	67	30	15,5	9,4	5,9
6	290	270	230	170	100	58	28	14,5	9,0	5,7
7	240	225	190	155	84	50	25	13,5	8,6	5,3
8	195	185	160	135	76	45	23	13,0	8,2	5,0
9	160	150	140	120	66	38	21	12,0	7,7	4,7
10	135	130	120	105	61	35	19	11,0	7,2	4,6
11	120	110	100	90	55	31	18	10,5	6,6	4,5
12	92	90	84	75	50	27	16	10,0	6,4	4,2
13	75	74	69	60	44	24	15	9,5	6,0	4,0
14	64	60	55	50	38	21	14	8,4	5,5	3,8
15	52	50	44	40	33	19	12	7,2	5,0	3,5
16	41	40	36	33	28	16	10	6,5	4,5	3,3
17	31	30	27	26	22	15	8,8	5,5	4,0	3,0
18	23	22	21	20	16	13	7,2	4,9	3,4	2,7

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr.}$

Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 1,573 \text{ r}$

Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 1,699 \text{ rltr.}$

Dosistabelle 1 zu den Kurven in Abb. 3

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	700	660	580	180	100	29	10,5	7,6	4,3	3,6
1	620	600	510	250	110	36	15	10	5,6	4,5
2	540	510	450	320	115	44	20	12	7,4	6,0
3	470	450	400	340	120	48	24	14	8,3	7,0
4	400	380	350	300	120	52	26	14,5	9,0	7,0
5	350	330	300	260	125	54	27	15	9,3	6,2
6	300	280	250	220	120	52	27	15	9,4	5,8
7	250	240	210	190	115	52	27	15	9,4	5,4
8	210	200	180	160	105	50	26	14,5	9,2	5,6
9	180	170	150	140	95	46	25	14	8,8	5,8
10	150	140	125	115	85	43	24	13	8,4	5,5
11	125	120	105	95	70	39	22	12	7,8	5,2
12	105	100	86	80	60	35	20	11	7,2	4,9
13	88	80	70	65	50	32	18	10	6,6	4,6
14	70	68	58	54	42	27	16	9	6,0	4,3
15	58	55	48	44	38	24	15	8	5,5	4,0
16	48	45	40	36	30	22	13	7,5	5,0	3,6
17	40	38	33	30	26	18	12	6,6	4,5	3,3
18	32	30	27	25	21	15	10,5	5,8	4,0	3,0

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr.}$

Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 1,788 \text{ r}$

Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 1,967 \text{ rltr.}$

Dosistabelle 2 zu den Kurven in Abb. 4

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	730	700	600	570	135	42	18	11,5	7,0	4,9
1	670	640	570	550	170	48	23	13,0	8,0	5,5
2	560	540	500	470	180	52	26	14,5	8,8	6,0
3	470	460	410	400	190	57	30	15,5	9,8	6,4
4	420	400	360	340	200	62	32	17,5	10,8	7,0
5	370	350	320	295	190	68	35	19,0	11,0	7,2
6	310	300	260	250	170	70	34	19,0	11,0	7,4
7	260	250	215	200	141	68	33	18,5	10,8	7,3
8	220	210	180	170	125	68	32	18,5	11,0	7,2
9	190	180	155	150	110	65	32	17,0	11,0	7,0
10	155	150	128	120	95	60	32	17,0	10,8	6,7
11	125	120	105	100	80	54	31	16,0	10,2	6,4
12	105	105	91	86	70	50	30	15,5	10,0	6,3
13	90	88	78	76	60	43	28	15,5	9,4	6,1
14	78	75	68	64	52	38	26	14,0	8,8	5,8
15	65	62	56	54	45	33	23	13,5	8,5	5,5
16	48	47	42	40	35	26	19	12,5	7,2	4,8
17	34	34	31	30	30	20	15,5	10,0	5,8	4,0
18	23	22	21	21	25	15	12	8,2	4,6	3,2

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr}$
 Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 2,047 \text{ r}$
 Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 2,211 \text{ rltr}$

Dosistabelle 3 zu den Kurven in Abb. 5

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	600	560	500	470	130	35	17	13	5,2	4,3
1	540	500	450	440	185	44	21	15,5	6,5	4,8
2	470	450	400	390	240	55	24	18	7,2	5,0
3	400	480	350	340	265	60	26	20	8,0	5,2
4	360	330	300	290	245	61	27	20	8,2	5,2
5	300	280	260	250	210	59	28	20	8,4	5,2
6	260	240	220	210	180	56	28	19	8,6	5,3
7	220	210	190	180	155	52	27	18	8,6	5,3
8	180	170	160	150	130	48	26	17	8,5	5,3
9	160	145	135	130	105	44	24	16	8,4	5,2
10	130	120	110	105	90	38	22	15	8,0	5,1
11	110	100	90	89	76	34	21	14	7,6	4,8
12	89	84	74	72	62	30	18	13	7,0	4,4
13	73	70	62	60	52	26	17	11,5	6,4	4,1
14	60	57	50	48	43	23	15	10	5,8	3,7
15	48	47	41	40	35	19	13	9	5,2	3,4
16	40	38	33	32	28	17	11	8	4,5	3,0
17	32	31	27	26	23	14	10	7	3,8	2,6
18	23	22	20	19	18	11	8,2	6	3,2	2,3

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr.}$

Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 1,737 \text{ r}$

Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 1,876$

Dosistabelle 4 zu den Kurven in Abb. 6

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	200	190	110	60	35	18	6,6	3,6	2,0	1,6
1	190	180	125	70	40	21	9,0	4,5	2,7	2,0
2	175	160	130	74	43	22	10,5	5,2	3,1	2,3
3	160	150	130	78	47	25	12,0	6,0	3,7	2,6
4	140	132	120	80	48	26	13,0	6,8	4,2	2,8
5	125	120	110	82	49	27	14,0	7,6	4,6	2,9
6	110	108	99	80	48	27	15,0	8,0	4,8	3,1
7	100	95	90	73	45	28	16,0	8,8	5,0	3,4
8	88	83	78	68	43	26	15,5	8,6	5,2	3,5
9	76	73	68	60	40	25	15,0	8,5	5,0	3,5
10	68	63	60	52	37	23	14,0	8,0	5,0	3,5
11	58	55	52	47	35	21	13,0	7,5	4,9	3,4
12	50	48	45	40	32	19	12,0	7,2	4,8	3,2
13	44	41	39	36	30	17	11,0	7,0	4,5	3,0
14	35	34	33	30	26	14	9,6	6,0	4,1	2,7
15	29	28	27	25	22	13	8,3	5,2	3,7	2,5
16	23	23	22	20	18	10,5	7,0	4,5	3,1	2,0
17	19	18	17	16	14	9	6,0	3,8	2,5	1,7
18	15	14	13	12	11	7,4	5,0	3,3	1,9	1,3

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr.}$

Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 0,685 \text{ r}$

Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 0,740 \text{ rltr.}$

Dosistabelle 5 zu den Kurven in Abb. 7

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	235	220	200	96	37	12,5	6,4	4,8	3,0	2,2
1	225	210	190	108	43	15,5	8,0	5,8	3,6	2,5
2	208	190	175	115	47	18,0	9,8	6,6	4,3	3,0
3	190	175	160	118	51	21,0	11,0	7,4	4,9	3,2
4	178	155	140	115	53	23,0	12,5	8,2	5,0	3,5
5	145	138	128	110	52	24,0	13,5	9,0	5,1	3,6
6	130	120	112	98	52	25,0	14,0	9,8	5,2	3,7
7	110	105	100	86	51	25,0	14,0	10,5	5,2	3,8
8	98	90	88	77	51	24,0	14,0	10,5	5,2	3,8
9	84	80	76	67	50	24,0	14,0	11,0	5,2	3,7
10	74	70	66	59	46	23,0	14,0	10,0	5,2	3,7
11	64	60	56	51	43	23,0	13,5	9,8	5,2	3,7
12	54	50	48	44	38	22,0	12,5	9,4	5,1	3,6
13	46	43	40	39	32	20,0	12,0	8,8	4,7	3,5
14	39	38	35	33	28	19,0	11,0	8,2	4,6	3,3
15	34	33	31	29	25	17,0	11,0	7,8	4,4	3,2
16	28	27	25	24	21	16,0	10,0	7,0	4,0	2,9
17	22	21	20	19	17	13,0	9,8	5,5	3,6	2,6
18	17	16	15	14	13	11,5	9,4	4,2	3,1	2,1

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr.}$

Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 0,802 \text{ r}$

Integraldosis $I = V \cdot \sum = 0,866 \text{ rltr.}$

Dosistabelle 6 zu den Kurven in Abb. 8

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	240	230	210	200	25	70	7,8	5,0	2,7	2,5
1	228	220	195	190	86	35	12	7,0	3,8	3,1
2	208	195	180	180	100	44	15	8,8	4,2	3,5
3	190	180	170	162	110	53	19	10,0	5,8	3,8
4	170	160	150	145	108	55	21	11,0	6,2	4,1
5	150	145	135	128	100	54	21	11,0	6,5	4,3
6	130	125	118	112	93	52	21	11,0	6,6	4,4
7	110	105	100	100	81	47	19	10,5	6,6	4,4
8	95	90	90	88	70	43	18	10,0	6,5	4,4
9	82	78	75	70	60	39	16	9,4	6,4	4,0
10	68	65	62	60	52	33	14	8,9	6,0	3,7
11	58	55	52	50	44	28	12	8,3	5,5	3,5
12	49	46	44	42	37	24	11	7,8	5,0	3,3
13	41	38	36	35	30	21	10	7,4	4,6	3,1
14	35	31	30	29	25	18	9	7,0	4,2	2,8
15	29	26	25	24	20	15	8	6,5	4,0	2,7
16	24	21	21	20	17	13	7	6,0	3,7	2,5
17	19	17	17	16	14	11	6,8	5,6	3,5	2,4
18	15	13,2	13	12	11,8	9,6	6,2	5,3	3,2	2,3

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr}$

Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 0,897 \text{ r}$

Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 0,967 \text{ rltr.}$

Dosistabelle 7 zu den Kurven in Abb. 9

Dosis in mr bei verschiedenen Abständen vom
Zentralstrahl in verschiedenen Tiefen

Tiefe in cm	Abstand vom Zentralstrahl in cm									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	190	180	170	165	105	17	8,4	4,6	3,1	2,2
1	180	170	160	155	105	20	10	5,6	3,7	2,6
2	165	158	150	140	104	21	11	6,2	4,1	2,9
3	150	140	138	130	100	24	12	6,8	4,6	3,0
4	140	130	125	120	92	25	13	7,2	5,2	3,3
5	130	120	115	110	86	26	14	7,6	5,6	3,5
6	115	105	100	94	78	26	14	8,0	5,9	3,7
7	100	92	86	82	70	26	15	8,0	6,0	3,7
8	86	80	76	70	60	24	14	8,0	6,0	3,7
9	75	70	66	62	53	23	14	7,6	5,8	3,7
10	64	60	56	52	45	20	13	7,2	5,6	3,5
11	54	50	46	45	39	18	11	6,6	5,2	3,3
12	44	42	39	38	32	16	10	6,0	4,8	3,1
13	37	35	32	31	27	14	9	5,5	4,4	2,9
14	30	29	27	26	23	13	8	5,0	4,0	2,6
15	25	24	23	22	19	11	7	4,5	3,6	2,4
16	21	20	19	18	16	9,8	6,2	4,1	3,3	2,1
17	17	16	15	14	13	8	5,4	3,7	2,9	1,9
18	13,8	13	12	11	10,5	6,8	4,4	3,2	2,7	1,6

Volumen der Einzelschicht: $V = 1,08 \text{ ltr.}$
 Summe der Dosis: $\sum \bar{I} = 0,723 \text{ r}$
 Integraldosis $I = V \cdot \sum \bar{I} = 0,781 \text{ rltr.}$

Dosistabelle 8 zu den Kurven in Abb. 10

schichten beträgt 1,08 ltr. Für die Bestimmung der mittleren Dosis in den einzelnen Schichten (Teilvolumina) wurde so verfahren, dass der arithmetische Mittelwert der tabellierten Dosiswerte an der Ein- und Austrittsfläche der Schicht berechnet und aus diesen beiden Werten wieder das arithmetische Mittel gebildet wurde. Die Integraldosis der Einzelschicht erhält man aus dem Produkt Volumen der Einzelschicht mal mittlere Dosis in dieser Schicht, während die gesamte Integraldosis für das betrachtete Phantom durch Summation dieser Werte entsteht; allgemein gilt:

$$I = \sum_{i=1}^{18} \bar{I}_i \cdot V_i$$

wobei

I = gesamte Integraldosis in Rltr

$\bar{I}_i$ = mittlere Dosis in der Schicht i in R

V_i = Volumen der Schicht in ltr ist.

Für die Berechnung der Integraldosis im vorliegenden Fall kann die Formel vereinfacht werden, da das Gesamtvolumen in gleiche Teilvolumina V zerlegt wurde. Somit wird

$$I = V \sum_{i=1}^{18} \bar{I}_i$$

wobei $V = 1,08 \text{ ltr.} = \text{const. ist.}$

Die nach dieser Formel berechnete Integraldosis für verschiedene Röhrensparnungen und Schichttiefen bzw. für Stehfeldaufnahmen sind aus den Dosistabellen 1 bis 8 ersichtlich und wurden ausserdem nochmals in Tabelle 9 übersichtlich zusammengestellt.

Schichttiefe in cm	Röhrenspannung in kV	
	80	130
3	1,699	0,740
9,5	1,967	0,866
16	2,211	0,967
Stehfeld- Aufnahme	1,876	0,781

Integraldosis in rltr. bei Stehfeld und verschiedenen Schichttiefen in Abhängigkeit von der Röhrenspannung ermittelt aus den Messungen (Tabellen und Kurven).

Tabelle 9

Die Integraldosis wurde zunächst in Abhängigkeit von der Schichttiefe graphisch dargestellt, wobei die Röhrenspannung als Parameter gewählt wurde (Abb. 11). Ausserdem wurde das Verhältnis der Integraldosis Schichtaufnahme zu Stehfeld als Funktion der Schichttiefe gezeichnet, wobei auch hier wiederum die Röhrenspannung Parameter war. Als graphische Darstellung der ermittelten Werte wurde sowohl die Integraldosis als auch das Verhältnis Schichtaufnahme zu Stehfeld, diesmal jedoch abhängig von der Röhrenspannung, bei verschiedenen Schichttiefen aufgetragen (Abb. 13 und 14).

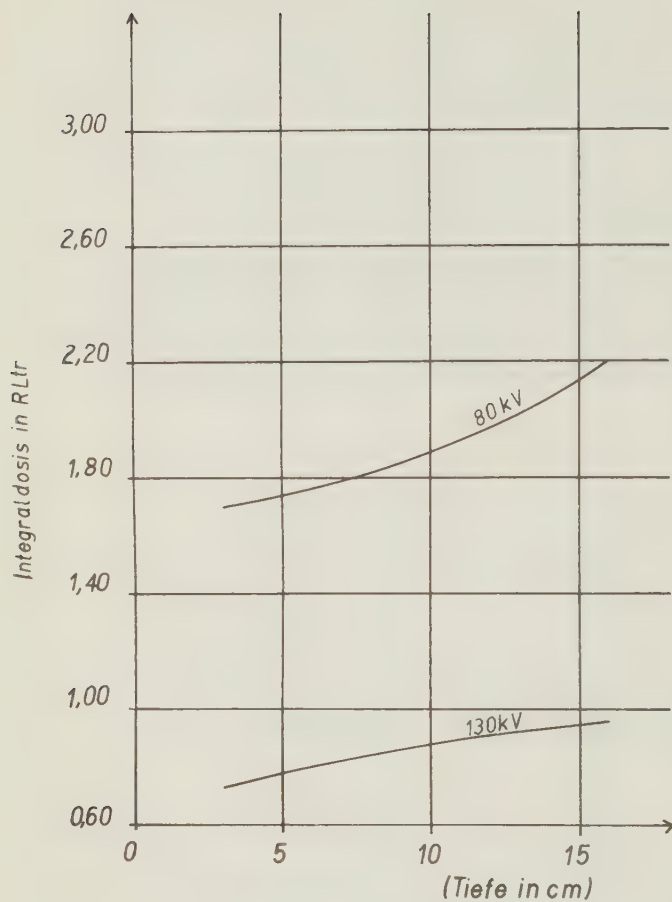


Abb. 11

Integraldose bei verschiedener Schichttiefe als Funktion der Röhrenspannung

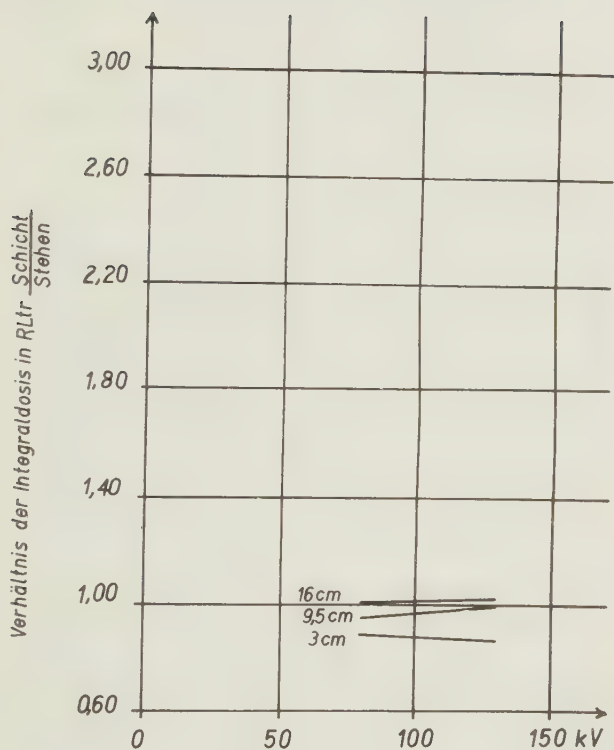


Abb. 13

Integraldosis bei verschiedenen Spannungen als Funktion der Schichttiefe

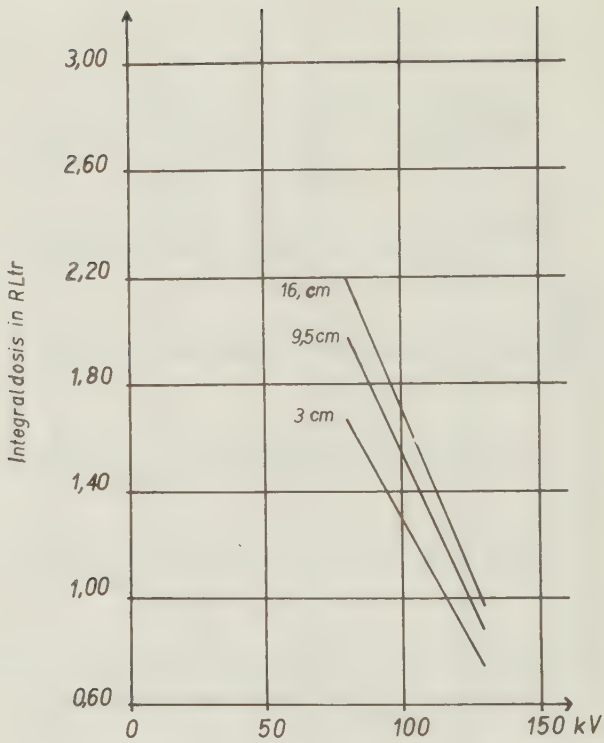


Abb. 14

Verhältnis der Integraldosis Schicht zu Stehen bei verschiedenen Spannungen als Funktion der Schichttiefe

Berechnung der Integraldosis nach der Mayneord'schen Formel

Von Mayneord (22) wird eine Formel zur näherungsweisen Bestimmung der Integraldosis bei Stehfeldbestrahlung angegeben:

$$= 1,44 \cdot D_0 \cdot A \cdot d_{1/2} \left[1 + 2,88 \frac{d_{1/2}}{f} - \left(1 + \frac{2d}{f} + 2,88 \frac{d_{1/2}}{f} \right) e^{-\left(\frac{d}{1.44 d_{1/2}} \right)} \right]$$

wobei

= Integraldosis in Rltr

D_0 = Dosis an der Phantomboberfläche in Feldmitte in R

= Feldgrösse an der Phantomboberfläche in cm^2

$d_{1/2}$ = Tiefe der 50% Isodose in cm

= Phantomdicke in cm

= Abstand Fokus - Phantomboberfläche in cm ist.

Im vorliegenden Fall war im Einzelnen:

$$= 294 \text{ cm}^2$$

$$= 19 \text{ cm H}_2\text{O}$$

$$= 120 \text{ cm}$$

Für Bestimmung von D_0 und $d_{1/2}$ wurde für 80 und 130 kV der Tiefendosisverlauf in Feldmitte graphisch dargestellt (Abb. 15) und die Oberflächendosis durch Extrapolation der Kurven ermittelt. Es ergaben sich somit folgende Werte:

	80 kV	130 kV
D_0	0,6 R	0,19 R
$d_{1/2}$	5,2 cm	7,2 cm

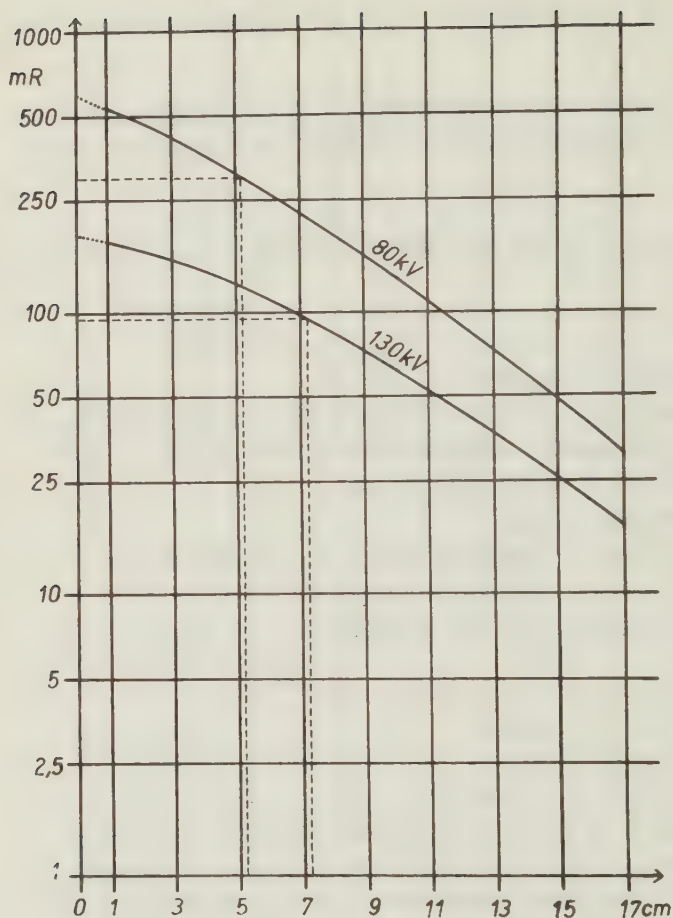


Abb. 15

Dosisverlauf im Zentralstrahl extrapoliert zur Oberfläche
(durch die gestrichelte Linie wird die Tiefe angegeben in
der 50% der Oberflächendosis auftritt)

Durch Einsetzen obenstehender Grössen in die Mayneord'sche Formel erhält man die Integraldosiswerte:

für 80 kV

$$I = 1,32 \text{ Rltr}$$

für 130 kV

$$I = 0,462 \text{ Rltr}$$

Setzt man das Verhältnis der Integraldosen Schicht zu Stehen wie es aus den Messungen ermittelt wurde, gleich dem Verhältnis der Integraldosen Schicht zu Stehen, wie es durch Berechnung nach der Mayneord'schen Formel erhalten wird, so kann man auch für die Integraldosis bei Schichtaufnahmen zu einem Näherungswert nach dieser Formel kommen. Die Beziehung lautet dann:

$$I_1 \text{ Schicht} = \frac{I_1 \text{ Stehen } I_2 \text{ Schicht}}{I_1 \text{ Stehen}}$$

wobei

I_1 die Integraldosis berechnet nach der Mayneord'schen Formel

I_2 die Integraldosis berechnet nach den Messungen ist.

Die in dieser Weise berechneten Integraldosiswerte wurden geordnet nach Röhrenspannung und Schichttiefe in Tab. 10 nochmals übersichtlich zusammengestellt.

Schichttiefe in cm	Röhrenspannung in kV	
	80	130
3	1,2	0,44
9,5	1,4	0,51
16	1,6	0,57
Stehfeld- Aufnahme	1,32	0,46

Integraldosis in rltr. bei Stehfeld und verschiedenen Schichttiefen in Abhängigkeit von der Röhrenspannung berechnet nach der Mayneord'schen Formel.

Besprechung der Ergebnisse

Aus der graphischen Darstellung der Integraldosis in Abhängigkeit von der Schichttiefe (Abb. 11) ergibt sich bei den beiden untersuchten Röhrenspannungen von 80 und 130 kV ein Ansteigen der Integraldosis mit zunehmender Tiefe. Während bei 130 kV ein nahezu linearer Verlauf vorliegt, wird bei 80 kV ein leicht exponentielles Ansteigen der Kurve ersichtlich. Der Absolutwert der Integraldosis liegt im Mittel bei 80 kV um den Faktor 2,5 höher als bei 130 kV. Betrachtet man das Verhältnis der Integraldosis Schicht zu Stehen in Abhängigkeit von der Schichttiefe für die beiden Röhrenspannungen (Abb. 12) so erkennt man bei etwa 4 cm Schichttiefe einen Schnittpunkt beider Kurven, d.h. bei dieser Tiefe besteht Übereinstimmung im Verhältnis der Integraldosis Schicht zu Stehen für 80 und 130 kV. Ab 10 cm Schichttiefe verlaufen beide Kurven etwa parallel. Aus Abb. 13 wird die Integraldosis als Funktion der Röhrenspannung ersichtlich, wobei ein relativ starker linearer Anstieg der Integraldosis schon zwischen 130 und 80 kV erfolgt. Der Kurvenverlauf wird mit zunehmender Schichttiefe steiler. Das Verhältnis der Integraldosis Schicht zu Stehen, abhängig von der Röhrenspannung aufgetragen, kann für alle Schichttiefen im betrachteten Spannungsbereich als konstant angesehen werden. Damit lässt sich sagen, dass der Unterschied der Integraldosis zwischen Schicht- und Stehfeldaufnahme zwischen 5 und 15 cm Schichttiefe bei 80 kV etwa 15% und bei 130 kV etwa 21% beträgt. Man kann diesen Prozentsatz in der Praxis wesentlich geringer halten, indem man bei Schichten die tiefer als Körpermitte liegen, die Aufnahmen von der Gegenseite her anfertigt. Man kann auch erkennen, dass bei entsprechend mageren Patienten, vor allem Kindern, bei denen die Schichten

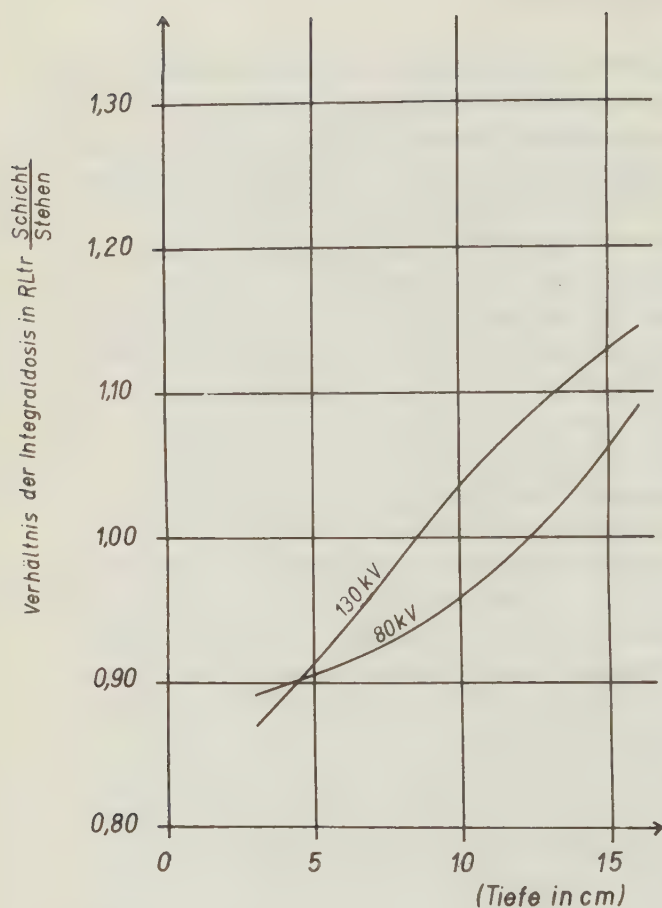


Abb. 12

Verhältnis der Integraldosis Schicht zu Stehen bei verschiedener Schichttiefe als Funktion der Röhrenspannung

kaum tiefer als 5 cm liegen, die Dosisbelastung durch die Einzelschichtaufnahmen nicht grösser ist als durch die Stehfeldaufnahme. Die Dosisberechnungen nach der Mayneord'schen Formel ergaben Werte, die 30 - 50 % niedriger lagen als die aus der Messung ermittelten Integraldosiswerte. Die Ursache für diese Differenz liegt darin, dass bei Anwendung der Mayneord'schen Formel nur die Dosis innerhalb des Strahlenkegels erfasst wird, der Beitrag den die Seitenstreuung zur gesamten Integraldosis liefert, jedoch nicht mit erfasst wird. Auch Gevantmann und Arndt haben bei Bestrahlung eines 24 ltr. fassenden Plexiglasgefässes mit 1000 kV Röntgenstrahlung festgestellt, dass die chemisch gemessene Integraldosis doppelt so hohe Werte ergibt wie die nach Mayneord (22) berechnete.

Zusammenfassung

Aufgabe vorliegender Arbeit war es, aus experimentell ermittelten Dosisverteilungen bei Übersichtsaufnahmen und Schichtaufnahmen die jeweilige Integraldosis bei Schichtaufnahmen zu dem bei Übersichtsaufnahmen zu untersuchen. Dabei wurde besonderer Wert auf die Dosisanteile gelegt, die in den bisher in der Literatur vorliegenden Mitteilungen grösstenteils vernachlässigt wurden. Die Belastung des Pat. wird erst dann richtig erfasst, wenn neben der Dosis im Bereich des Strahlenkegels zu Bilanzzwecken auch die im Streustrahlenbereich mit erfasst wird.

Es erfolgte zunächst eine Beschreibung der theoretischen Grundlagen und der Technik des Röntgenschichtverfahrens und eine kurze Erläuterung des Universalplanigraphen, da sich die ausgewerteten Versuchsergebnisse nur auf dieses Gerät beschränken. Im Folgenden sind dann die allgemeinen dosimetrischen Einheiten und Begriffe genau definiert und übersichtlich zusammengestellt worden, wobei besonders eingehend die Integraldosis bei Schichtaufnahmen diskutiert wurde. Um die Integraldosis näherungsweise berechnen zu können, war es notwendig, das Gesamtvolumen des Phantoms in Teilvolumina aufzugliedern und für diese die mittlere Dosis zu bestimmen. Die Integraldosis der Einzelschicht erhält man aus dem Produkt Volumen der Einzelschicht mal mittlere Dosis in dieser Schicht, während die gesamte Integraldosis für das betrachtete Phantom durch Summation dieser Werte entsteht. Dieser Berechnung der Integraldosis wird die nach der von Mayneord (22) angegebenen Formel zur näherungsweisen Bestimmung der Integraldosis bei Stehfeldbestrahlung gegenübergestellt.

Als wesentliches Ergebnis stellte sich heraus, dass sich Übersichtsaufnahmen und Schichtaufnahmen hinsichtlich der Integraldosis nur unwesentlich unterscheiden. Bei Schicht-

Aufnahmen ist die Integraldosis von der Schichthöhe abhängig. Sie ist in den plattennahen Abschnitten niedriger als in den plattenfernen und im Mittel um 20 - 30 % höher als bei der Übersichtsaufnahme. Dies entspricht etwa der bei Schichtaufnahmen gegenüber der Übersichtsaufnahme erforderlichen Erhöhung der Einfalldosis. Die am Phantom ermittelten Werte unterscheiden sich dabei von denen, die mit der Mayneord'schen Formel berechnet wurden. Dieser Unterschied ist durch die Tatsache zu erklären, daß Mayneord in seiner Formel die Strahlung ausserhalb des Direktfeldes nicht berücksichtigt, die jedoch bei der Tomographie von Bedeutung ist.

Als praktische Konsequenz ergibt sich, daß man Patienten, bei denen die Höhe der Strahlenbelastung von Bedeutung ist, so lagern soll, dass die darzustellende Schicht plattennah liegt, weil dann die relative Dosisbelastung ausserhalb des eigentlichen Feldes am geringsten ist.

Die vorliegenden Untersuchungen vergleichen jeweils eine Aufnahme Stehfeld mit einer Aufnahme im Schichtverfahren. Für die Praxis ist zu berücksichtigen, dass meist mehrere Schichtaufnahmen angefertigt werden: 3 bis 6. Im Hinblick auf die Strahlenbelastung ist also eine Einschränkung der Zahl der Schichtaufnahmen durch sorgfältige Planung der Untersuchungstaktik von ausschlaggebender Bedeutung.

Schrifttumsverzeichnis

1. Andreeas, I. R.: Radiology 70 (10, 58)
2. Bruckmoser, M. u. H.L. Keller: Strahlentherapie 98 (1955)
3. Bunde, E.: Mediz.Röntgentechnik II. Teil
 Thieme-Verlag, Stuttgart
4. Cen, M. u. Frik, W.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 88 (1958)
5. Cempiel, H.: Sonderdruck aus ärztliche Forschung
 Heft 3 (1962)
6. Clarkson, J.R. u. Mayneord, W.V.: Brit.J.Radiol. 12 (1939)
7. Feddema, J. u- Oosterkamp, W.J.: Modern trends in diagn.
 radiology, London (1953)
8. Frik, W.: Röntgen-Bl. 13 (1960) : 166
9. Griesbach, R. u. Kemper, F.: Röntgenschnittverfahren
 Thieme-Verlag, Stuttgart (1955)
10. Großmann, G.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 52,
 Beiheft (1935) : 28
11. Großmann, G.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 51
 (1935) : 61, 191
12. Happey, F.: Nature 145 (140); 668 Brit.Radiol.
 14 (1941) : 235
13. Haybittle, J.L.: Brit.J.Radiol. 30 (1957) : 663
14. Janker, R. u. K. Renner: Fortschritt.Röntgenstrahlen 96 (1962):545
15. Jüngling, O.: Münchner med.Wochenschrift 1924 : 123
16. Kieffer, J.: Analysis of laminographie notions and
 their values
 Radiology 33 (1939) : 560
17. Kieffer, J.: General principles of section radiography
 Radiol.Clin.Photogr. 19 (1943) : 2
18. Klems, H.: Untersuchungen über die räumliche Ver-
 teilung bei Röntgen-Schichtaufnahmen
 (Dissertation 1962)
19. Klotz, E. u. W. Seelentag: Fortschritt.Röntgenstrahlen
 80 (1958) : 92

20. Mayneord, W.V.: Nature 145 (1940) : 972, Brit.J.Radiol.
13 (1940) : 235, 17 (1944) : 359,
Proc.Phys.Soc. 54 (1942) : 405
21. Mayneord, W.V.u.J.R.Clarkson: Brit.J.Radiol. 17 (1944) : 151 u.177
22. Mayneord, W.V.: Measurement of Radiation for medical
Purposes, Proc.Phys.Soc.,London,
54, 405 (1942)
23. Reinsma, K.: 9. Int.Kongress Radiol.München 1959
24. Schinz, H.R.u.R.Wideröe: Strahlentherapie 95 (1954)
25. Schoen, D.: Fortschritt.Röntgenstrahlen
88 (1958) 12. Sdbd.zur Strahlen-
therapie 46 (1960)
26. Schoen, D.: Strahlentherapie 120 (1963)
27. Seelentag, W. u. E. Klotz: Strahlentherapie 108 (1959) : 112
28. Seelentag, W.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 89 (1958) : 753
29. Stieve, F.E.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 85 (1956) : 491
30. Tobt: Le Polytrene de MM.Salls et Porcher
J.Radiol., 31 (1950) : 300
31. Vitay, P.: 9. Int.Radiol.Kongress München 1959
32. Vieten, H.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 62 (1940) : 322
33. Vieten, H.: Fortschritt.Röntgenstrahlen 72 (1952) : 383
34. Wachsmann, F.: Strahlentherapie 70 (1941) : 653 : 83,
(1950) : 41, (1952) : 253, 93 (1954): 295
35. Wintz, H.: Verl.dtsch.Röntgen-Gesellschaft
13 (1922) : 133
36. Ziedses des Plantes, B.G.: acta radiol. 13 (1932) : 182 - 191

Herrn Professor Dr. med. H.v.Braunbehrens danke ich für die kritische Durchsicht und die Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof.Dr.med.F.E.Stieve möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats und für die Ratschläge bei der Abfassung danken.

Besonderen Dank bin ich auch Herrn Dipl.Physiker H. Czempiel schuldig, der mir bei der Auswertung der Messungen Anleitungen gegeben hat.

Die der Arbeit zugrunde gelegten Messreihen stammen von Fräulein L. Widenmann, auch ihr habe ich zu danken.

Lebenslauf

Am 4.12.1927 wurde ich als 1. Kind des Bäckermeisters Melchior Stähli und dessen Ehefrau Käthe geb. Friedland in Erfurt geboren. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule absolvierte ich dann die Oberrealschule und machte 1947 in Werden/Opf. das Abitur.

Vom September 1943 bis September 1944 war ich im Rahmen des Kriegsdienstes als Luftwaffenhelfer und anschliessend bis November 1944 als Arbeitsmann beim RAD eingesetzt.

Im Sommersemester 1948 begann ich das Medizinstudium zunächst an der phil. theol. Hochschule in Regensburg und setzte es nach dem Physikum an der Universität München fort. Dort habe ich auch im Februar 1955 das medizinische Staatsexamen abgelegt. Nach Beendigung der Pflichtassistentenzeit bin ich ununterbrochen als Assistenzarzt an der chir. Abteilung des städtischen Krankenhauses München-Oberföhring tätig. Am 23.4.1964 habe ich den Titel Facharzt für Chirurgie erhalten.

